

Описанные выше сигнальные характеристики оптических спектров изучены для Западно-сибирских нефтей близких по химической природе и физическим свойствам (относительной плотности ρ и средним молярным массам M). Результаты приведены в таблице:

№ образца	$\mu(\lambda)$	$R_{\text{сog}}$	ρ	M
1	0.235	0.063	0.9243	392
2	0.279	0.080	0.9247	401
3	0.287	0.084	0.9262	399
4	0.259	0.069	0.9242	399

Как следует из полученных данных, применение автокорреляционной функции позволяет идентифицировать близкие по химическому составу вещества.

Список публикаций:

- [1] Ковалева Э.А., Доломатов М.Ю. // Электромагнитные волны и электронные системы. 2016. Т. 21, №9, С.20-23.
 [2] Dolomatov M. Yu., Latypov K.F., Kovaleva E.A., Dolomatova M.M., Paimurzina N.Kh. // The abstracts of International conference on Nanophotonics and Micro/Nano Optics, Paris, France, 2016. P.69.
 [3] Доломатов М.Ю., Ярмухаметова Г.У., Доломатова М.М. // Прикладная спектроскопия. 2017. Т. 84, №1, С.132-137.

Численное моделирование поверхностного плазмонного резонанса в изогнутом металлизированном световоде методом конечных элементов

Дышлюк Антон Владимирович

Дальневосточный федеральный университет

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

anton_dys@iacp.dvo.ru

Рефрактометрические сенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса (ППР) представляют перспективное направление развития современной биосенсорики [1]. Такие датчики используют плазмон-поляритонные волны, распространяющиеся вдоль границы раздела металл/диэлектрик, для измерения сверхмалых вариаций показателя преломления диэлектрической среды вблизи границы. Среди различных типов ППР-рефрактометров особый интерес вызывают волоконно-оптические сенсоры, обладающие такими преимуществами, как варьруемая длина измерительной базы, отсутствие необходимости юстировки оптических элементов, возможность миниатюризации, проведения удаленных измерений и, в перспективе, значительного снижения стоимости биосенсорных систем на основе ППР [2]. В работах [3-4] обоснована возможность создания перспективного волоконно-оптического ППР-рефрактометра на основе изогнутого одномодового световода, в котором металлическая пленка наносится на кварцевую оптическую оболочку стандартного одномодового волоконного световода (ВС), а связь между фундаментальной и плазмонной модами обеспечивается за счет изгиба световода, через посредство его оболочечных мод шепчущей галереи. Благодаря предельной простоте конструкции такой рефрактометр может найти широкое применение в биосенсорике, однако до настоящего времени его численное моделирование проводилось лишь в приближении упрощенной двухмерной геометрии. Для детального понимания принципа действия и особенностей таких датчиков требуется более строгий трехмерный численный анализ, что и составляет цель настоящей работы.

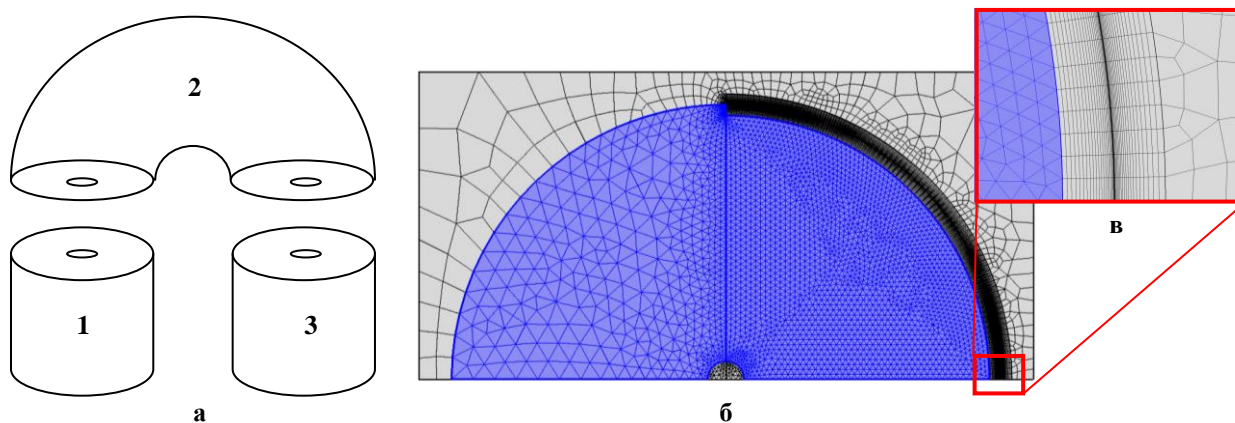


рис.1. а - Схема исследуемого световода: 1 – входной участок, 2 – изогнутый металлизированный участок, 3 – выходной участок; б – дискретизация сечения исследуемого световода методом конечных элементов; в – увеличенный фрагмент сетки вблизи металлической пленки.

На *рис. 1а* приведено схематическое изображение объекта исследования, представляющего волноводную структуру на основе одномодового световода типа SMF-28, состоящую из трех участков: 1, 3 – входной и выходной участки в виде прямого ВС с сохраненным полимерным покрытием, 2 – чувствительный участок в виде изогнутого с радиусом R световода без полимерного покрытия с тонкой пленкой серебра толщиной d , нанесенной на его оптическую оболочку. Участок 2 помещен в среду с измеряемым показателем преломления n_3 .

Поскольку каждый из участков представляет макроскопический протяженный объект, параметры которого не изменяются в направлении распространения света, для расчета распределения поля направляемого излучения и коэффициента пропускания всей структуры удобно воспользоваться стандартным методом разложения по собственным модам. При нахождении мод изогнутого участка требуется высокое разрешение расчетной сетки вблизи металлической пленки, поэтому в настоящей работе применяется неравномерная дискретизация сечения световода с использованием метода конечных элементов, реализованного в программном пакете Comsol Multiphysics (*рис. 1б-в*). Благодаря симметрии решаемой задачи достаточно рассмотреть половину сечения каждого из участков с граничным условием PEC на горизонтальной линии симметрии, лежащей в плоскости изгиба (*рис. 1б*). Такая формулировка задачи соответствует поляризации электрического поля излучения в плоскости петли изогнутого световода. Расчеты для ортогональной поляризации показали низкую эффективность возбуждения плазмонного резонанса, поэтому она в настоящей работе не рассматривается.

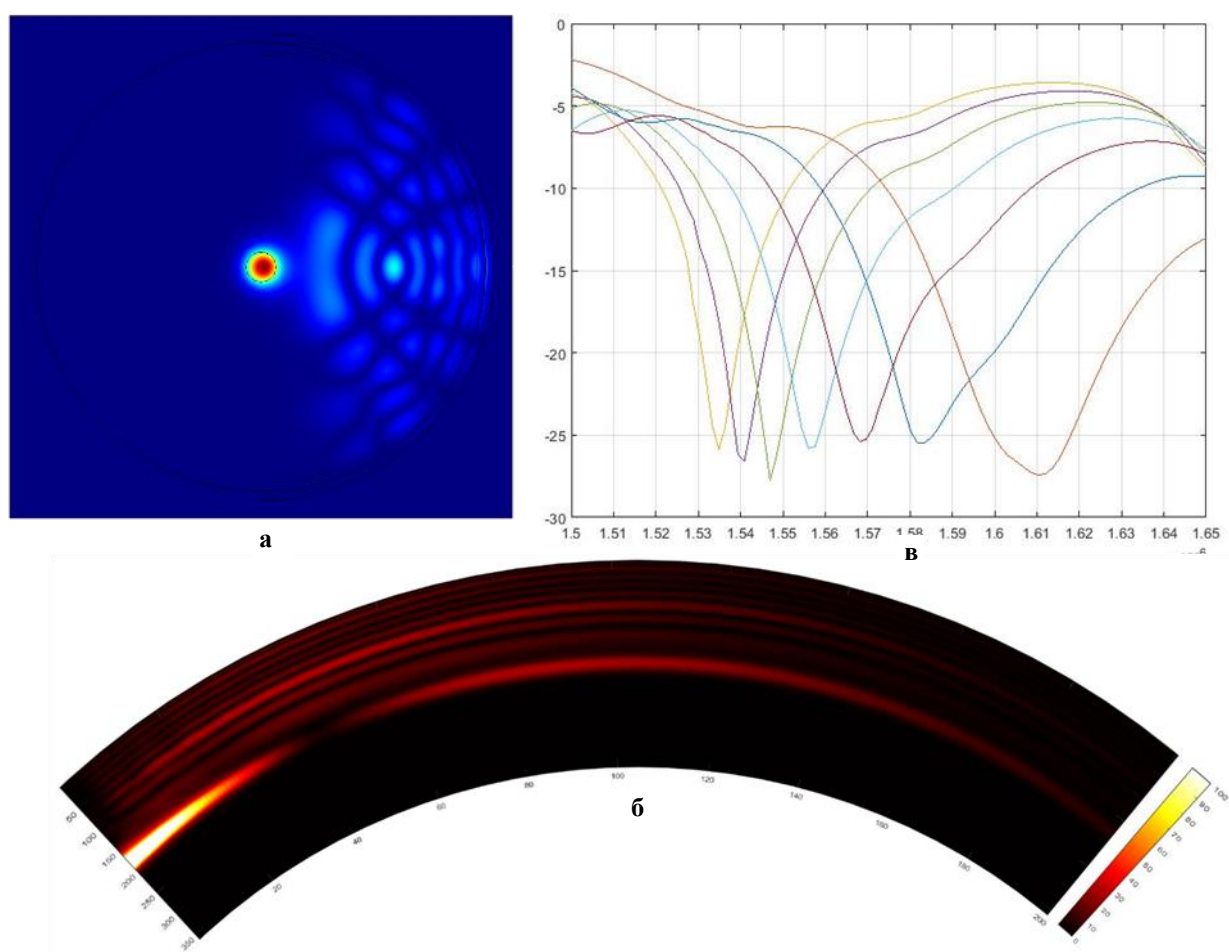


рис.2. Результаты расчета поперечного (а) и продольного (б) распределения амплитуды поля направляемого излучения в изогнутом участке при $n_3=1,419$, $\lambda=1,547$, $R=7,55$ мм, $d=30$ нм; в - Результаты расчета спектров пропускания исследуемой структуры при $n_3=1.417-423$.

На *рис. 2* представлены результаты численного моделирования исследуемой структуры. Как видно из рассчитанных на резонансной длине волны поперечного (*рис. 2а*) и продольного (*рис. 2б*) распределений амплитуды поля направляемого излучения, возбуждение плазмонного резонанса происходит с участием оболочечной моды шепчущей галереи, локализованной во внешней по отношению к изгибу части сечения световода. Передача энергии фундаментальной моды плазмон-поляритонной волне, распространяющейся по металлической пленке, приводит к сильному затуханию направляемого излучения вследствие омических

потерь. В результате в спектре пропускания всей структуры формируется глубокий провал не резонансной длине волны, которая зависит от показателя преломления внешней среды n_3 . Это иллюстрируется рис. 2в, на котором показаны результаты расчета спектров пропускания исследуемой структуры для различных значений n_3 в диапазоне 1.417 - 1.423 для случая, когда металлизированный участок изогнут в виде полной петли, т.е. его длина составляет $L=2\pi R$, где R – радиус изгиба. Как видно из рисунка, длина волны ППР при изменении n_3 монотонно смещается, при этом спектральная чувствительность составляет ~ 12 мкм/ед. ПП. Полагая спектральное разрешение анализатора спектра равным 0,02 нм, разрешение рефрактометрических измерений, которое может быть получено и использованием исследуемой структуры, можно оценить в $\sim 2 \cdot 10^{-6}$.

Список публикаций:

- [1] J. Homola, *Surface Plasmon Resonance Based Sensors, Springer Series on Chemical Sensors and Biosensors (Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York) (2006)*
- [2] R.K.Verma, B.D.Gupta, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 41, 095-106 (2008)
- [3] Yu. N. Kulchin, O.B. Vitrik, A.V. Dyshlyuk, Zh. Zhou, *Laser Physics*, 23(8), 085105-08109 (2013)
- [4] Yu. N. Kulchin, O. B. Vitrik, V. Dyshlyuk, *Opt. Express* 22, 22196-22201 (2014)

Оптические свойства бериллийсодержащих свинцово-силикатных стекол

Жидкова Наталья Геннадьевна

Зацепин Анатолий Фёдорович

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Жидков Иван Сергеевич

natusa1993mak@mail.ru

Благодаря высокому коэффициенту преломления и коэффициенту вторичной электронной эмиссии свинцово-силикатные стекла находят широкое применение. Оксид бериллия, входя как компонент в самые различные по составу стекла, придаёт им особые, уникальные свойства, например, повышенную стойкость к агрессивным средам, к тепловым и механическим нагрузкам, а так же к воздействию потоками частиц.

Важнейшей характеристикой стекол, применяемых при изготовлении радиационно-защитных окон, является прозрачность в видимой области спектра. В качестве эталона взято двойное стекло $50\text{PbO} \cdot 50\text{SiO}_2$. Добавление уже малых добавок оксида бериллия в стекло приводит к резкому смещению границы фундаментального поглощения в высокоэнергетическую область. При дальнейшем увеличении содержания BeO до 15 мол. % наблюдается параллельный сдвиг края в высокоэнергетическую область, а при росте концентрации BeO до 30 мол. % наблюдается увеличение наклона урбаховского хвоста.

С ростом концентрации оксида бериллия наблюдается симбатное изменение значений E_g^{opt} и E_g . В тоже время наблюдается значительное увеличение ширины оптической щели при малых добавках BeO , свидетельствующее о резком изменении структуры матрицы стекла в районе этой точки. Значение E_U скачкообразно меняется в случае малых добавок и в дальнейшем линейно нарастает, изменяясь в пределах от 0,27 до 0,35 эВ.

Уменьшение радиуса атомной корреляции и рост энергии Урбаха с увеличением содержания оксида бериллия отражает нарастание степени статического разупорядочения в среднем порядке. В тоже время в общей тенденции можно выделить две области: от 1 до 10 мол. % и больше 15 мол. %. Область малых добавок характеризуется большим радиусом атомной корреляции с малым его нарастанием до 10 мол. %, что, вероятно, отражает «достраивание» силикатной сетки стекла бериллийкислородными тетраэдрами. Вторая область характеризуется резким уменьшением радиуса атомной корреляции, что является следствием структурной перестройки, происходящей в стекле.

Перестройка ближнего порядка стекол системы BeO-PbO-SiO_2 при увеличении содержания BeO до 30 мол. % может быть обусловлена именно формированием собственных бериллий-кислородных фрагментов, содержащих атомы кислорода с повышенным координационным числом. Однако вопрос о существовании в структуре стекла трехкоординированных атомов кислорода является дискуссионным.